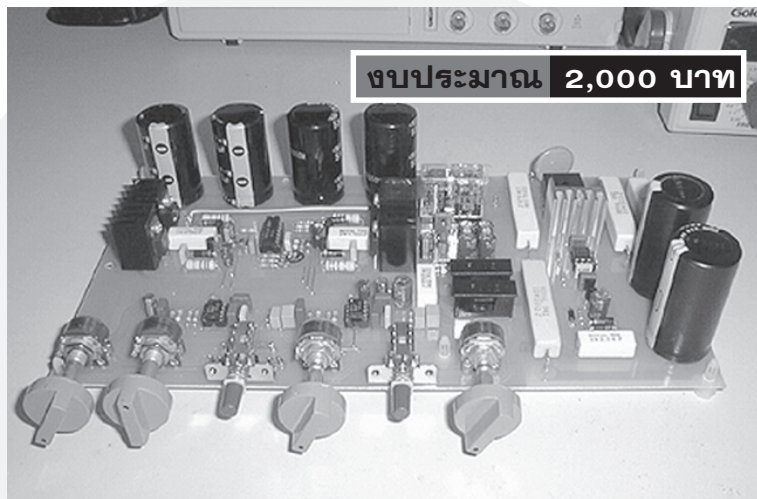


คลาส D อินทีเกรตแอมป์สวิตชิง

60+60 วัตต์

● เสกสิทธิ์ คำชมภู



หยุดความซ้ำซากจำเจในเพาเวอร์แอมป์แบบเก่ากันได้แล้ว พร้อมกับเตรียมตัวสัมผัสแห่งจินตนาการของเสียงที่ได้จากคลาส D อินทีเกรตแอมป์แบบสวิตชิง ที่คุณสร้างขึ้นมากับมือ

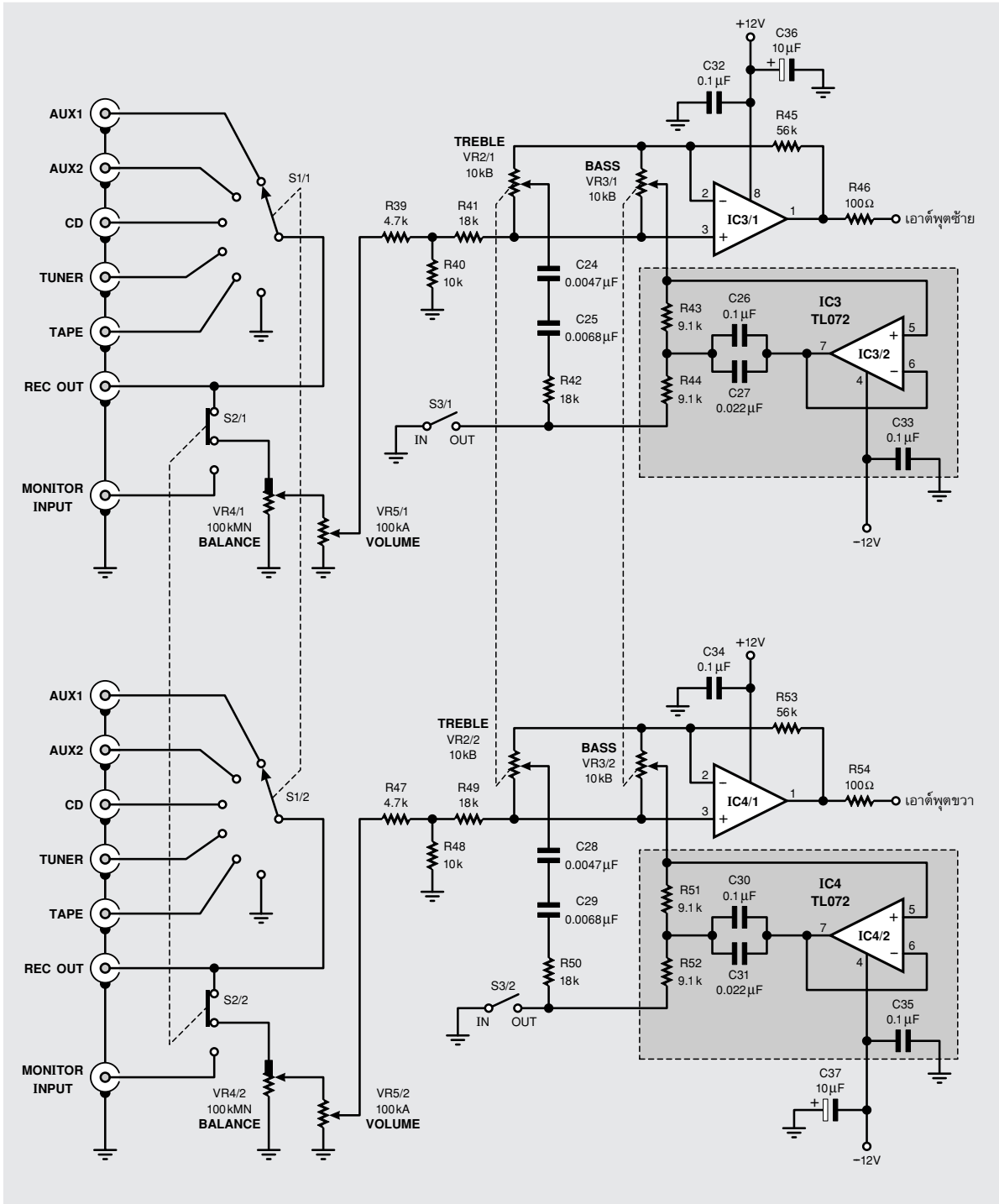
ส าหรับโครงงานอินทีเกรตแอมป์นี้ก็ได้ห่างหายไปจากวารสารเคมีนานแล้ว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากทางกองบรรณาธิการยังไม่มีอินทีเกรตแอมป์ตัวเด็ดหรืออาจจะยังเด็ดไม่พอจึงไม่ได้นำเสนอ ทำให้เกิดการขาดช่วงไปนานพอสมควร ดังนั้นในวารสารเคมี ฉบับนี้จึงเป็นโอกาสดีที่จะนำเสนออินทีเกรตแอมป์ที่ฉีกความซ้ำซากจากเดิมๆ ออกไปหมดสิ้นและถือถือว่าเป็นโครงงานสุดยอดอินทีเกรตแอมป์ส่งท้ายศตวรรษนี้และข้ามสู่ศตวรรษใหม่ก็ว่าได้ และเป็นแนวทางใหม่ของทางเลือกที่จะรับฟังในเสียงที่ได้ออกมาจากเพาเวอร์แอมป์คลาสดี

แต่ก่อนที่จะเข้าไปทำความรู้จักกับเจ้าสวิตชิงเพาเวอร์แอมป์ ก็ต้องทำความรู้จักกับหลักการแรกของการรับสัญญาณอินพุตก่อนนั่นก็คือส่วนของโทนคอนโทรล ซึ่งในส่วนนี้ก็มีความแตกต่างไปจากโทนคอนโทรลทั่วๆ ไปที่เคยพบมา ดังที่กล่าวไว้ตั้งแต่ต้นแล้วว่าต้องมีความพิเศษเท่านั้น จึงอยากจะนำมาเสนอต่อผู้อ่าน วงจรโทนคอนโทรลในที่นี้ได้รับการออกแบบวงจรมาจากบรรทัดฐานของหน้าที่สองหน้าที่คือการควบคุมการอีควอไลเซชัน (equalization) และการควบคุมอัตราขยาย (gain control) ในรูปที่ 1 แสดงวงจรสมมูลของโทนคอนโทรล โดยจากวงจรนี้ก็พอ

จะมองเห็นความแตกต่างที่ไม่เหมือนกับวงจรโทนคอนโทรลอื่นๆ ซึ่งการทำงานของวงจรที่ละเอียดก็จะได้กล่าวถึงต่อไป

การควบคุมการอีควอไลเซชันและอัตราขยายของโทนคอนโทรล

จากวงจรสมมูลของโทนคอนโทรลในรูปที่ 1 สัญญาณจากแหล่งโปรแกรมต่างๆ จะถูกเลือกเข้ามาด้วยสวิตช์ซีเล็คเตอร์ S1/I (ในการทำงานนี้จะอธิบายเฉพาะแขนเนลซ้ายเท่านั้นส่วนอีกแขนเนลจะมีการทำงานเหมือนกันทุกประการ



รูปที่ 1 วงจรสมบูรณ์ของปรี่แอมป์ไทนคอนโทรล

โดยการดูเทียบเคียงกันได้) ผ่านสวิทช์ เทปมอนิเตอร์ S2/1 โดยมี R39, R40 ทำหน้าที่รักษาสภาวะอิมพีแดนซ์ทางอินพุตไว้และจำกัดระดับของสัญญาณ

อินพุตไว้ในระดับที่เหมาะสม สัญญาณจะผ่าน R41 เข้าสู่ขานอน-อินเวอร์ตอินพุต (ขา 3) ของ IC3/1 เพื่อทำการขยายสัญญาณ โดยก่อนหน้านี้นี้สัญญาณ

จะถูกทำการอีควอไลเซชันทางด้านความถี่สูงและทางด้านความถี่ต่ำด้วย VR2/1, VR3/1 ตามลำดับ ซึ่งในขณะนี้จะเป็นการควบคุมอัตราขยายไปพร้อมๆ กัน

ด้วยโดยจะสัมพันธ์กันกับค่าความต้านทานกำหนดอัตราการขยายของวงจรคือ R45

การควบคุมการโอเวอร์โหลดเซชันและอัตราการขยายนี้จะใช้การปรับเปลี่ยนค่าของ VR2/1, VR3/1 จากผู้ใช้งานซึ่งเปรียบเสมือนการปรับค่าเพื่อเบสหรือคัตที่ย่านความถี่เสียงต่ำ (bass) และย่านความถี่เสียงสูง (treble) โดยสัญญาณที่จะถูกปรับนั้นจะถูกปรับระดับสัญญาณผ่านชุดเน็ตเวิร์กกรองความถี่เสียงสูงและเสียงต่ำประกอบด้วย VR2/1, C24, C25 และ R42 สำหรับย่านความถี่เสียงสูง ส่วนย่านความถี่เสียงต่ำจะประกอบด้วย VR3/1, R43, R44 ด้วยอัตราการบูสต์และคัตสัญญาณจะอยู่ที่ ± 6 เดซิเบล ซึ่งการบูสต์หรือคัตนี้จะเป็นการทำงานร่วมกับการเพิ่มและลดอัตราการขยายของ IC3/1 ด้วยเช่นกัน โดยมีฟีดฟอร์ IC3/2 ทำหน้าที่เป็นวงจรป้อนกลับสัญญาณแบบแอคทีฟ ส่วนสวิตช์ S3/1 ทำหน้าที่เลือกการทำงานระหว่างการปล่อยผ่านสัญญาณหรือการควบคุมการบูสต์/คัตสัญญาณของวงจรโทคอนโทรลนี้หรือเปรียบได้กับสวิตช์ FLAT ของโทคอนโทรลนั่นเอง

จากการจัดวงจรโทคอนโทรลในลักษณะนี้ทำให้ได้ค่าความเพี้ยนบวกกับ

สัญญาณรบกวนต่ำกว่า 0.05 เปอร์เซ็นต์ที่แถบกลางความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์ระดับสัญญาณ 3.5 โวลต์อาร์เอ็มเอส โดยมีอัตราการขยายของวงจรสูงสุด ในรูปที่ 2 แสดงรูปการตอบสนองของสัญญาณทางเอาต์พุตขณะทำการบูสต์, คัต (สัญญาณรูปบนและล่างสุด) ส่วนสัญญาณรูปกลางเป็นเส้นตรง นั่นคือตำแหน่งของ S3/1 อยู่ในตำแหน่ง FLAT (out) เป็นการตอบสนองความถี่แบบราบเรียบตลอดย่านความถี่เสียง ส่วนสัญญาณรูปตรงกลางที่มีระดับสัญญาณต่ำๆ นั้นเป็นสัญญาณแสดงถึงการเลื่อนเฟสของสัญญาณ ตัวต้านทาน R46 เป็นตัวรักษาค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรและหากพิจารณาดูดีๆ แล้ววงจรในรูปที่ 1 นี้จะเป็นแบบคัปปลิงโดยตรงตลอดจนถึงเอาต์พุตจึงทำให้สัญญาณที่ได้มีคุณภาพมากไม่ถูกลดทอนจากคุณสมบัติของตัวเก็บประจุ

ควบคุมอัตราการขยายด้วยการป้อนกลับแบบลบ

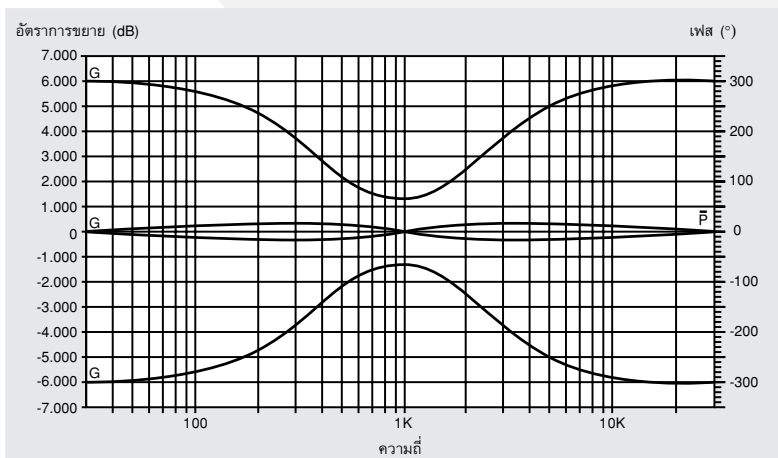
การควบคุมอัตราการขยายของวงจรโทคอนโทรลนี้จะใช้การควบคุมด้วยการป้อนกลับแบบลบ กล่าวคือเมื่อเซตให้วงจรมีอัตราการขยายที่สูงๆ และระดับสัญญาณทางอินพุตต่ำๆ ก็จะหมายถึงมีการป้อน

กลับที่น้อยลง แต่ถ้าเซตอัตราการขยายที่ต่ำๆ และระดับสัญญาณสูงๆ ก็จะหมายถึงมีการป้อนกลับที่มากขึ้น และการควบคุมแบบลิเนียร์ย่อมจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าการควบคุมแบบลอการิทึม

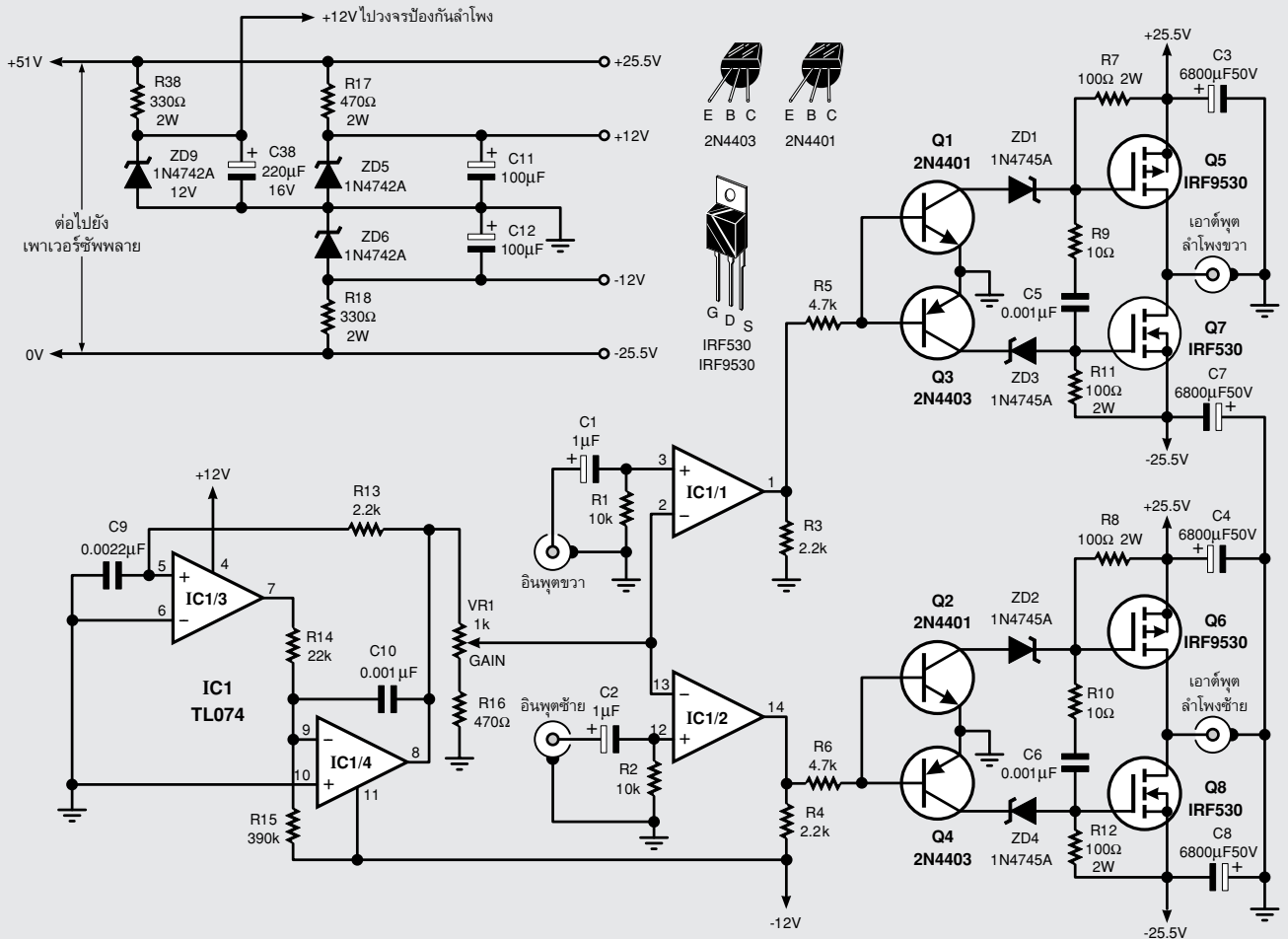
คลาส D เพาเวอร์แอมป์แบบสวิตชิง

เพาเวอร์แอมป์ที่ถูกนำมาใช้งานขยายสัญญาณเสียงส่วนมากแล้วจะมีการจัดวงจรในแบบคลาส A และคลาส B ซึ่งเป็นวงจรขยายเสียงแบบลิเนียร์กันเป็นส่วนใหญ่ หากแต่ว่าการนำเสนอบทความโครงการการสร้างเพาเวอร์แอมป์ในวารสารเคมีฯ ฉบับนี้จะนำเสนอวงจรขยายเสียงแบบนอน-ลิเนียร์ ซึ่งวงจรขยายเสียงแบบนอน-ลิเนียร์นี้ก็เป็นที่ยู้งกันดีในนามของวงจรขยายแบบสวิตชิงหรือวงจรขยายคลาส D นั่นเอง เหตุที่เรียกชื่อดังที่กล่าวมาก็เนื่องจากว่าเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้งานทางเอาต์พุตจะทำงานในลักษณะออนและออฟสลับกัน

เมื่อกล่าวถึงสวิตชิงแอมพลิไฟเออร์แล้ว ส่วนมากการขับส่งกำลังออกไปยังโหลดอย่างเต็มที่ในขณะที่เราเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทางเอาต์พุตมีการสวิตช์ออน จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานที่สูงมากระหว่างที่ทรานซิสเตอร์เอาต์พุตทำงานออนและออฟ แต่เนื่องจากความเร็วในการสวิตช์ทำงานออน/ออฟของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เอาต์พุตมีความเร็วที่สูงมากเปรียบเทียบกับการทำงานออนที่เชื่องช้า จึงให้ผลลัพธ์ในทางตรงกันข้ามคือทำให้มีการสูญเสียกำลังงานที่น้อยมากในเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทางเอาต์พุตขณะสวิตช์ออน/ออฟที่ความเร็วสูง และผลที่ได้จากการออกแบบวงจรสวิตชิงแอมพลิไฟเออร์นี้ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพการทำงานเกินกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เพาเวอร์แอมป์คลาส A และคลาส B จะให้ค่าประสิทธิ



รูปที่ 2 กราฟแสดงคุณสมบัติการตอบสนองทางความถี่และเฟส



รูปที่ 3 วงจรเพาเวอร์แอมป์สเตอริโอคลาส D 60+60 วัตต์

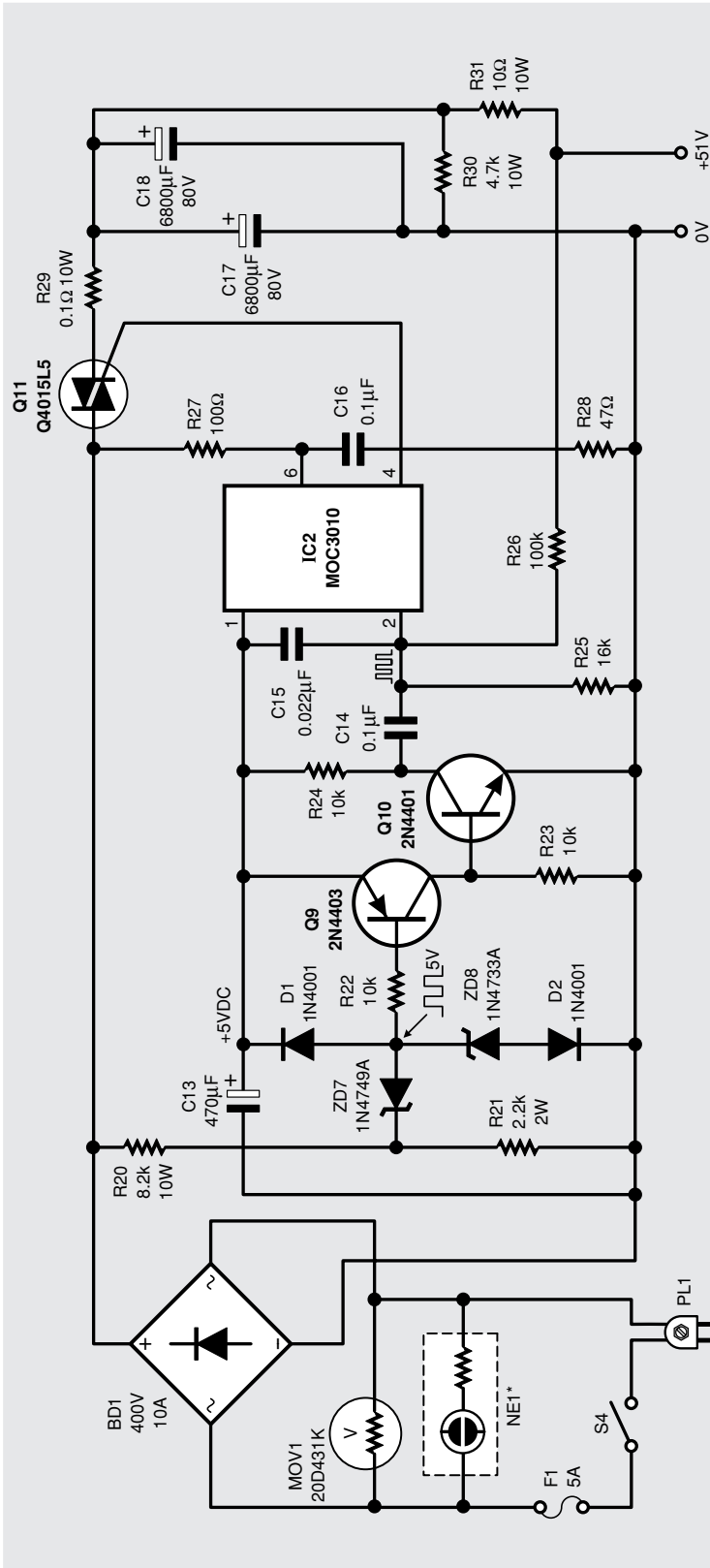
ภาพสูงสุดเพียง 20 เปอร์เซ็นต์และ 78.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่สูงกว่าแล้ววงจรขยายแบบสเตอริโอยังมีขนาดที่เล็กกว่า, น้ำหนักเบา กว่าและราคาถูกกว่าวงจรขยายในคลาส A และคลาส B

วงจรขยายแบบสเตอริโอจะทำการมอดูเลตทางความกว้างของพัลส์ (pulse width modulator : PWM) มาทำหน้าที่ควบคุมการสวิตชิงกล่าวคือสัญญาณเสียงที่เข้ามาทางอินพุตจะถูกแปลงไปเป็นสัญญาณอนุกรมพัลส์ โดยในแต่ละช่วง

ของความถี่สัญญาณเสียงต้นฉบับและระดับแอมพลิจูด ก็จะถูกทำการรวมเข้ากับค่าความถี่ที่และแอมพลิจูดคงที่และสัญญาณอ้างอิงรูปสามเหลี่ยม ดังนั้นสัญญาณที่จะถูกขับออกทางลำโพงก็จะเป็นการเปลี่ยนแปลงทางความกว้างของพัลส์เอาต์พุต (ดีวีซีเอชเคิล) เนื่องจากความถี่และระดับแอมพลิจูดของสัญญาณอินพุต เมื่อทำการตีมอดูเลตสัญญาณพัลส์ทางเอาต์พุตออกมา ผลจากการตีมอดูเลตดังกล่าวก็จะได้อาต์พุตออกมาเป็นสัญญาณเสียงขับออกสู่ลำโพงต่อไป

วงจรและการทำงานของเพาเวอร์แอมป์แบบสเตอริโอ

วงจรสมบูรณของเพาเวอร์แอมป์สเตอริโอ 60+60 วัตต์นี้แสดงไว้ในรูปที่ 3 สัญญาณอินพุตจากปริแอมป์โทนคอนโทรลจะเข้ามาทางอินพุต C1 (C2 ของอีกแชนเนล) เข้าสู่ 3 นอน-อินเวอร์ตอินพุตของ IC1/1 โดยมี R1 ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอิมพีแดนซ์อินพุตของวงจร ในส่วนของ IC1/3 และ IC1/4 ทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์กำเนิดคลื่นสัญญาณ

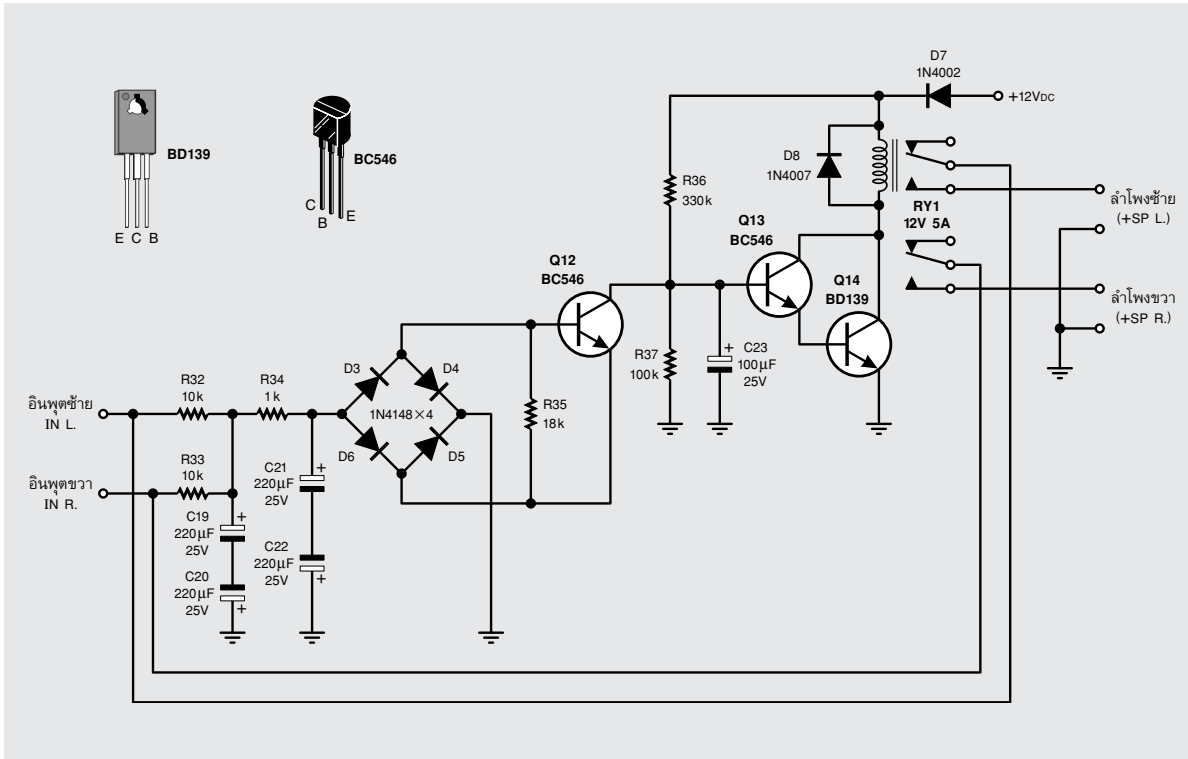


รูปที่ 4 วงจรเพาเวอร์แอมป์สเตอริโอแบบสวิทช์ +51 โวลต์

รูปสามเหลี่ยมอ้างอิงความถี่ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่ 4 โวลต์พีค-ทู-พีค สัญญาณคลื่นรูปสามเหลี่ยมอ้างอิงที่กำเนิดขึ้นนี้จะถูกป้อนผ่าน VR1 โดยมี R16 ทำหน้าที่รักษาระดับความคงที่ของสัญญาณต่ำสุดโดย VR1 นี้จะทำหน้าที่กำหนดหรือปรับตั้งค่าแรงดันเปรียบเทียบอ้างอิงของสัญญาณใน IC1/1 และ IC1/2 ที่ขาอินเวอร์ตติงอินพุต (ขา 2 และ 13 ตามลำดับ) นั่นก็หมายความว่าย่านระดับสัญญาณอินพุตนั้นจะมีความแรงสัญญาณได้ตั้งแต่ 1-4 โวลต์พีค-ทู-พีค จากการเปรียบเทียบสัญญาณคลื่นรูปสามเหลี่ยมอ้างอิงกับสัญญาณอินพุตใน IC1/1 และ IC1/2 นี้ผลของสัญญาณทางเอาต์พุตจะเป็นสัญญาณการมอดูเลตทางความกว้างของพัลส์ (PWM) สำหรับส่งไปทำการขยายสัญญาณต่อไปทั้งแขนเนลซ้ายและแขนเนลขวา

สำหรับการอธิบายการทำงานในที่นี้จะอธิบายเพียงแขนเนลขวาเท่านั้น เพราะในอีกแขนเนลจะเหมือนกันทุกประการโดยเปรียบเทียบการทำงานกับอีกแขนเนลได้ วงจรส่วนขยายในแขนเนลขวานี้ระดับแรงดันเปรียบเทียบสัญญาณทางเอาต์พุตของ IC1/1 (ขา 1) จะถูกกับปลิงส่ววงจรไบโพลาร์ทรานส์เลชันโดยผ่านตัวต้านทานจำกัดกระแส R5 ซึ่งวงจรไบโพลาร์ทรานส์เลชันนี้จะมีการรับสัญญาณและแยกสัญญาณทั้งด้านบวกและด้านลบ โดย Q1, ZD1, R7 ทำหน้าที่ทรานส์เลชันสัญญาณในด้านบวก และ Q3, ZD3, R11 ทำหน้าที่ทรานส์เลชันสัญญาณในด้านลบ โดยทั้งด้านบวกและด้านลบนั้นจะทำการสวิทช์สัญญาณเทียบกับกราวด์ผ่านอิมิตเตอร์ของ Q1 และ Q3 ซึ่งเป็นกราวด์สำหรับการอ้างอิงการทรานส์เลชันสัญญาณ

จากผลของการทรานส์เลชันสัญญาณนี้จะทำให้เกิดแรงดันคคร่อมระหว่างขาเกตของมอสเฟต Q5 กับ Q7 ประมาณ



รูปที่ 5 วงจรป้องกันลำโพง

17 โวลต์ และเป็นค่าแรงดันไบแอสให้กับเกตของมอสเฟตในระดับกระแสที่เพียงพอ โดยได้มีการชดเชยต่อผลจากค่าความจุภายในที่ขาเกตของมอสเฟตทั้งสองด้วยเพาเวอร์มอสเฟต Q5 และ Q7 ทำหน้าที่ในลักษณะของการสวิตช์ออนและออฟซึ่งเอาต์พุตต่อกันอยู่ในลักษณะพุช-พูลคอมพลีเมนต์ารี ค่าความต้านทาน R3 จะเป็นตัวรักษาระดับการสวิงของสัญญาณทางเอาต์พุตให้เริ่มที่จุดกึ่งกลางของระดับแรงดันจากแหล่งจ่าย หรือมีจุดกึ่งกลางของการสวิงสัญญาณที่จุดศูนย์เมื่อเทียบกับด้านบวกและด้านลบแล้ว ถ้าหากไม่มีตัวต้านทาน R3 แล้ว สัญญาณเอาต์พุตก็จะกลายเป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมและเลื่อนระดับจุดเริ่มสัญญาณลงไปสู่ระดับสัญญาณด้านลบ ส่วน RC เน็ตเวิร์ก R9, C5 นั้นจะต่ออยู่ระหว่างขาเกตของมอสเฟต N แชนแนล และ P แชนแนล ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการ

สวิตช์ซึ่งจะมีผลต่อรูปสัญญาณทางเอาต์พุตเอาต์พุตของแชนแนลซ้ายและขวาหลังจาก ที่ผ่านการคิมอดูเลชันออกมาเป็นสัญญาณ ออดิโออะนาล็อกแล้วสามารถขับไดนามิก โหลดที่เป็นลำโพงขนาด 8 โอห์มได้สูงสุด 60 วัตต์อาร์เอ็มเอส ตลอดย่านความถี่เสียง ที่แรงดันไฟเลี้ยง 51 โวลต์ดีซี กระแส 1.2 แอมป์ ซึ่งก็นับว่าให้กำลังขับที่พอเหมาะสำหรับการใช้งานในบ้าน C3, C4, C7 และ C8 ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟให้เรียบ สำหรับเสียงในส่วนเพาเวอร์แอมป์ ในวงจร ส่วนนี้ จะมีการลดแรงดันไฟเลี้ยงวงจรหลัก คือ +51 โวลต์ ซึ่งใช้เสียงทางส่วนเอาต์พุตลดแรงดันลงมาเพื่อใช้เลี้ยงกับตัวไอซีภายในวงจร โดยแรงดัน +51 โวลต์ จะถูกลดแรงดันลงมาเหลือ ± 12 โวลต์ ด้วย R17, ZD5 สำหรับด้านบวกและ R18, ZD6 สำหรับด้านลบ และที่จุดนี้เองอีกทางหนึ่งก็จะทำให้เกิดเป็นแรงดันไฟเลี้ยง

ขนาด ± 25.5 โวลต์ เมื่อวัดเทียบกับกราวด์เสมือนของซัพพลายนี้ เพื่อใช้เลี้ยงวงจรในส่วนของเพาเวอร์เอาต์พุตของวงจรอีกด้วย โดยมี C11, C12 ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟเลี้ยงต่ำให้เรียบยิ่งขึ้นและในจุดนี้ก็จะได้กราวด์เสมือนของวงจรทั้งหมดเกิดขึ้น

เพาเวอร์ซัพพลาย แบบสวิตช์

เมื่อเพาเวอร์แอมป์มีการทำงานแบบสวิตช์พัลส์สวิตช์มอดูเลชันแล้ว ในส่วนของเพาเวอร์ซัพพลายก็ไม่น้อยหน้กก็ได้ถูกออกแบบให้เป็นวงจรซัพพลายแบบสวิตช์เช่นกัน วงจรในรูปที่ 4 เป็นวงจรสมบูรณ์ของเพาเวอร์ซัพพลายแบบสวิตช์วงจรนี้จะไม่ใช้หม้อแปลงลดแรงดันเลยแต่จะป้อนแรงดันไฟเมนขนาด 220 โวลต์เอซีเข้าสู่วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์เลย โดยแรงดันไฟสลับ 220 โวลต์จะถูกป้อนเข้า

รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน 1/4 W $\pm 5\%$ (ยกเว้นที่ระบุ)

R1,R2,R22,R23,R24, R32,R33 - 10k Ω	7 ตัว
R3,R4,R13 - 2.2k Ω	3 ตัว
R5,R6 - 4.7k Ω	2 ตัว
R7,R8,R11, R12,R27 - 100 Ω	5 ตัว
R9,R10 - 10 Ω	2 ตัว
R14 - 22k Ω	1 ตัว
R15 - 390k Ω	1 ตัว
R16 - 470 Ω	1 ตัว
R17, - 470 Ω 2W	1 ตัว
R18,R38 - 330 Ω 2W	2 ตัว
R20 - 8.2k Ω 10W	1 ตัว
R21 - 2.2k Ω 2W	1 ตัว
R25 - 16k Ω	1 ตัว
R26,R37 - 100k Ω	2 ตัว
R28 - 47 Ω	1 ตัว
R29 - 0.1 Ω 10W	1 ตัว
R30 - 4.7k Ω 10W	1 ตัว
R31 - 10 Ω 10W	1 ตัว
R34 - 1k Ω	1 ตัว
R35,R41,R42,R45,R49, R50,R53 - 18k Ω	7 ตัว
R36 - 330k Ω	1 ตัว
R39,R47 - 33k Ω	2 ตัว
R40,R48 - 3.6k Ω	2 ตัว
R43,R44,R51, R52 - 9.1k Ω $\pm 1\%$	4 ตัว
R46,R54 - 600 Ω	2 ตัว
VR1 - 1k Ω เก็ทมาตัวนอนเล็ก	1 ตัว
VR2,VR3 - 10k Ω B โวลุ่ม 2 ชั้นแกนยาว	2 ตัว
VR4 - 100k Ω MN โวลุ่ม 2 ชั้นแกนยาว	1 ตัว

VR5 - 100k Ω A โวลุ่ม 2 ชั้น
แกนยาว 1 ตัว

ตัวเก็บประจุ

C1,C2 - 1 μ F 50V อิเล็กโทรไลต์	2 ตัว
C3,C4,C7,C8,C17,C18 - 6800 μ F 80V อิเล็กโทรไลต์	6 ตัว
C5,C6,C10 - 0.001 μ F 50V โพลีเอสเตอร์	3 ตัว
C9 - 0.0022 μ F 50V โพลีเอสเตอร์	1 ตัว
C11,C12,C23 - 100 μ F 25V อิเล็กโทรไลต์	3 ตัว
C13 - 470 μ F 25V อิเล็กโทรไลต์	1 ตัว
C14,C16,C26,C30,C32, C33,C34,C35 - 0.1 μ F 50V โพลีเอสเตอร์	8 ตัว
C15,C27,C31 - 0.022 μ F 50V โพลีเอสเตอร์	3 ตัว
C19,C20,C21,C22,C38 - 220 μ F 25V อิเล็กโทรไลต์	5 ตัว
C24,C28 - 0.0047 μ F 50V โพลีเอสเตอร์	2 ตัว
C25,C29 - 0.0068 μ F 50V โพลีเอสเตอร์	2 ตัว
C36,C37 - 10 μ F 16V อิเล็กโทรไลต์	2 ตัว

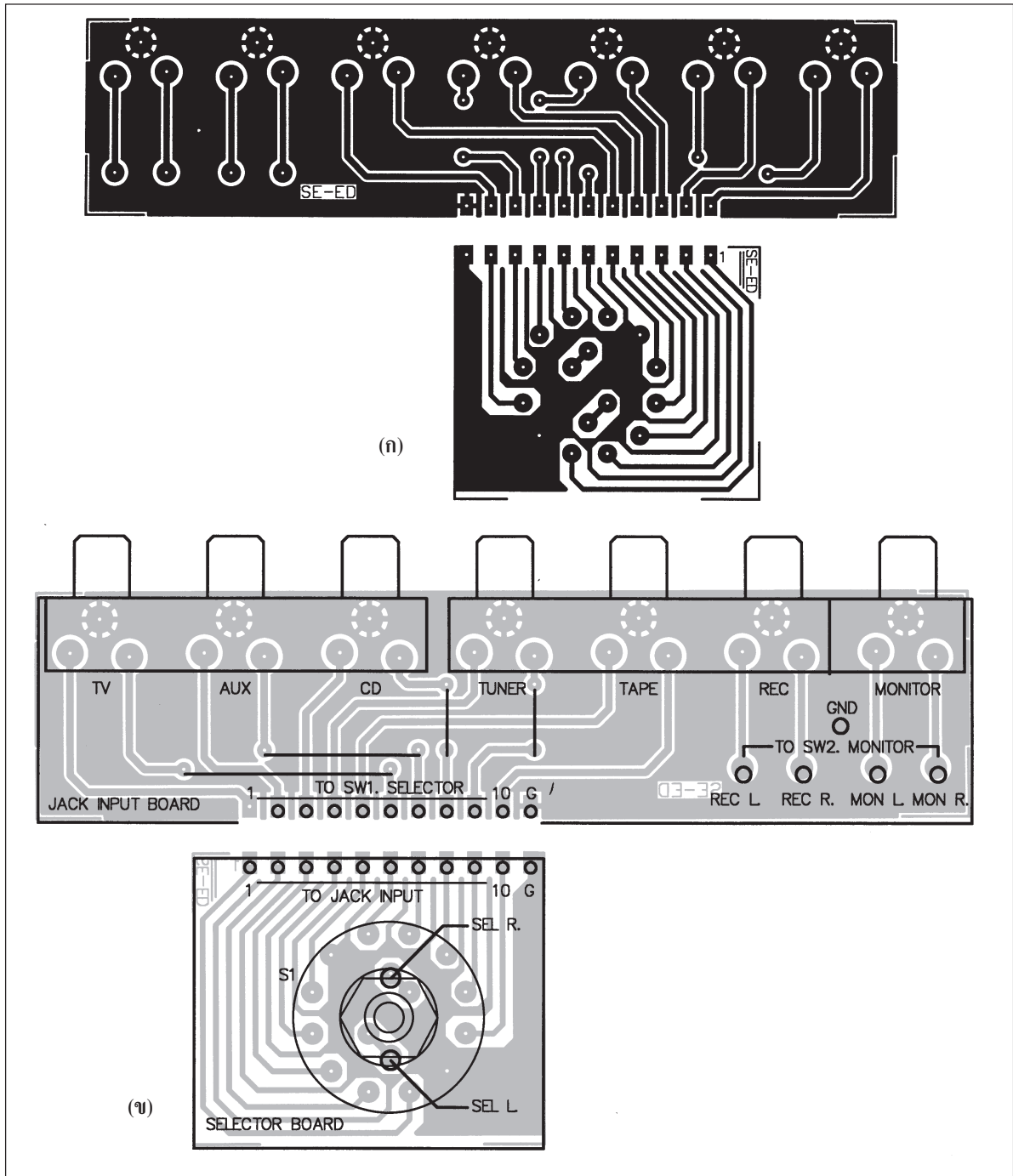
อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

IC1 - TL074	1 ตัว
IC2 - MOC3010	1 ตัว
IC3,IC4 - TL072	2 ตัว
Q1,Q2,Q10 - 2N4401	3 ตัว
Q3,Q4,Q9 - 2N4403	3 ตัว
Q5,Q6 - IRF 9530	2 ตัว

Q7,Q8 - IRF 530	2 ตัว
Q11 - Q4015L5	1 ตัว
Q12,Q13 - BC546	2 ตัว
Q14 - BD139	1 ตัว
BD1 - บริดจ์ไดโอด ขนาด 400V 10A	1 ตัว
MOV1 - วาริสเตอร์ 20D431K	1 ตัว
D1,D2 - 1N4001	2 ตัว
D3-D6 - 1N4148	4 ตัว
D7 - 1N4002	1 ตัว
D8 - 1N4007	1 ตัว
ZD1-ZD4 - 1N4745A (16V 5W)	4 ตัว
ZD5,ZD6,ZD9 - 1N4742A (12V 1W)	3 ตัว
ZD7 - 1N4749A (24V 5W)	1 ตัว
ZD8 - 1N4733A (5.1V 5W)	1 ตัว

อื่นๆ

S1 - สวิตช์ซีลิกเตอร์ 6 ทาง 2 ชุด	1 ตัว
S2,S3 - สวิตช์เลือก 2 ทาง 6 ขา	2 ตัว
S4 - สวิตช์เพาเวอร์ ON-OFF	1 ตัว
F1 - ฟิวส์ 5A พร้อมกระบอกฟิวส์	1 อัน
F2,F3 ฟิวส์ 3A พร้อมฐานยึดฟิวส์	2 ชุด
RY1 - รีเลย์ 12VDC 2 คอนแทก	
ขาลง PCB	1 ตัว
แจ็ค RCA ขาลง PCB แบบ 4 จุดสเตอร์ไอโอ	1 ตัว
แจ็ค RCA ขาลง PCB แบบ 3 จุดสเตอร์ไอโอ	1 ตัว



รูปที่ 6 (ก)ลายทองแดงซีเล็กเตอร์, แจ็คอินพุต (ข)การลงอุปกรณ์ด้านบน

ที่บริดจ์ไดโอด BD1 ทำหน้าที่เรกติไฟ-
เออร์แรงดันให้เป็นแรงดันไฟตรงประมาณ
311 โวลต์ดีซี

เน็ตเวอร์กอันประกอบด้วย R20,
R21, ZD7, ZD8 และ D2 ทำหน้าที่

กำเนิดอนุกรมพัลส์ขนาด 5 โวลต์ เพื่อทำ-
หน้าที่ 2 อย่างคือ ประการแรก อนุกรมพัลส์
5 โวลต์นี้จะถูกใช้เป็นแหล่งจ่ายสัญญาณ
พัลส์ในแบบโมโนสเตเบิลผ่านเน็ตเวอร์ก
D1 และ C13 ประการที่สอง พัลส์ 5

โวลต์นี้จะถูกใช้เป็นสัญญาณกระตุ้นให้
กับออปโตไอโซเลเตอร์ IC2 และเพา-
เวอร์ไทรแอก Q11 โดยผ่านเน็ตเวอร์ก
กำเนิดรูปคลื่นสัญญาณกระตุ้นที่เหมาะสม
ประกอบด้วย Q9, Q10 และ R22-R24

และกระตุ้นวงจรในลักษณะโมโนสเตเบิล ด้วย C14 และ R25 สำหรับตัวต้านทาน R21 จะเป็นตัวเซตค่าความกว้างของพัลส์ไว้สูงสุดและในที่นี้คือเซตค่าแรงดันเอาต์พุตไว้สูงสุดนั่นเอง

ถ้าหากไม่มีการป้อนกลับแรงดัน และไม่มีการฟีดแบ็ค ค่าแรงดันทางเอาต์พุตจะมีค่าประมาณ 90 โวลต์ แต่ในที่นี้ต้องการควบคุมแรงดันเอาต์พุตไว้ที่ 51 โวลต์ ดังนั้นจึงมีการป้อนกลับผ่านเน็ตเวิร์กอินประกอบด้วย R25, R26 และ C15 ในลักษณะป้อนกลับแบบรีเวอร์สไบแอสให้กับออปโตไอโซเลเตอร์ IC2 โดยที่เมื่อแรงดันเอาต์พุตมีค่าแรงดันเกินกว่า 51 โวลต์ ก็จะทำให้ Q11 หยุดนำกระแสและไม่มีการกระตุ้นเกิดขึ้นทางเอาต์พุต นั่นคือเป็นศูนย์ ซึ่งอุปกรณ์ RC ในเน็ตเวิร์กป้อนกลับนี้จะเปรียบเสมือนการเรกูเลตแรงดันทางเอาต์พุตจากการปรับเปลี่ยนสถานะการทำงานของ IC2

ตัวต้านทาน R27 ทำหน้าที่จำกัดกระแสที่จะไหลผ่านออปโตไอโซเลเตอร์ และ C16, R28 จะเป็นตัวรักษาสภาวะให้แน่ใจได้ว่า IC2 ได้ทำงานอย่างมีเสถียรภาพและในย่านที่ปลอดภัยแล้ว สำหรับตัวต้านทาน R29 ทำหน้าที่จำกัดการกระชากของกระแสที่จะไหลผ่าน Q11 ในขณะที่มีการเริ่มทำงานในตอนแรกที่อยู่ในสถานะออน ตัวเก็บประจุ C17, C18 ที่ต่อร่วมกับ R29 ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ในส่วนนี้จะทำหน้าที่ลดกระแสรีเบิ้ลให้ลดน้อยลงด้วย ตัวต้านทาน R30 ทำหน้าที่เป็นตัวคายประจุให้กับ C17, C18 เมื่อเพาเวอร์ซัพพลายหยุดใช้งานหรือปิดสวิตช์เพาเวอร์

วงจรป้องกันลัดไฟ

ในรูปที่ 5 แสดงวงจรป้องกันลัดไฟ ซึ่งคุณสมบัติของวงจรนอกจากจะป้องกันลัดไฟไม่ให้เสียหายเนื่องจากแรงดันไฟ

ตรงที่ออกจากเอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์ในกรณีที่การทำงานผิดพลาดแล้วยังทำหน้าที่หน่วงสัญญาณการต่อออกไปยังลัดไฟป้องกันเสียงดัง “ปึก” ขณะเปิดสวิตช์เพาเวอร์ เริ่มแรกเมื่อวงจรได้รับไฟเลี้ยง +12 โวลต์ ผ่าน D7 เข้ามาวงจรจะมีการหน่วงเวลาอยู่ประมาณ 3-5 วินาที จากนั้นการเริ่มชาร์จประจุของ C23 จนกระทั่งมีแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงขึ้นมาประมาณเกือบครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย ทำให้ Q13 ได้รับไบแอสตรงและต่อคาร์ลิงตันกับ Q14 อยู่จึงทำให้เกิดการทำงานพร้อมกันในเวลาต่อมาและทำให้ RY1 ทำงานต่อหน้าสัมผัสเข้าด้วยกันลัดไฟจึงต่อกับขั้วเอาต์พุตได้ โดยค่าการหน่วงเวลาในการชาร์จประจุของ C23 นี้ถูกกำหนดด้วยค่าของ C23, R36 และ R37 ส่วน D8 ป้องกันแรงดันย้อนกลับจากการทำงานของรีเลย์

ในสภาวะการป้องกันเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นที่เพาเวอร์แอมป์และมีแรงดันไฟตรงออกมาทางเอาต์พุตไม่ว่าจะออกมาทางแชนเนลไหนก็ตาม ค่าแรงดันไฟตรงดังกล่าวจะผ่านเข้ามาทาง R32 และ R33 และไม่ว่าจะเป็นแรงดันด้านบวกหรือด้านลบ แรงดันนั้นก็จะถูกกรองแรงดันก่อนด้วย C19, C20 ต่อกันเป็นแบบไม่มีขั้วและมี R34 ลดแรงดันลงมาในระดับหนึ่ง ก่อนที่จะกรองแรงดันอีกครั้งด้วย C21, C22 ผ่านเข้าทำการเรกตีไฟเออร์ให้เป็นแรงดันไฟตรงที่มีขั้วแรงดันที่แน่นอนด้วย D3-D6 แรงดันที่ได้จะถูกไบแอสตรงให้กับ Q12 ทำหน้าที่นำกระแสและดึงเอาแรงดันที่ตกคร่อม C23 อยู่ขณะนั้นตกลงมาเป็นศูนย์ ทำให้การทำงานของ Q13, Q14 และ RY1 หยุดลงทันที เป็นการตัดลัดไฟออกจากเอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์ป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น ตัวต้านทาน R35 เป็นโหลดให้กับชุดเรกตีไฟเออร์ ครั้นเมื่อเอาต์พุตของเพาเวอร์แอมป์กลับมาเป็น

ปกติทุกอย่างแล้ว การทำงานของวงจรป้องกันลัดไฟก็จะกลับมาอยู่ในสภาวะการทำงานปกติดังกล่าวนี้อีกครั้ง

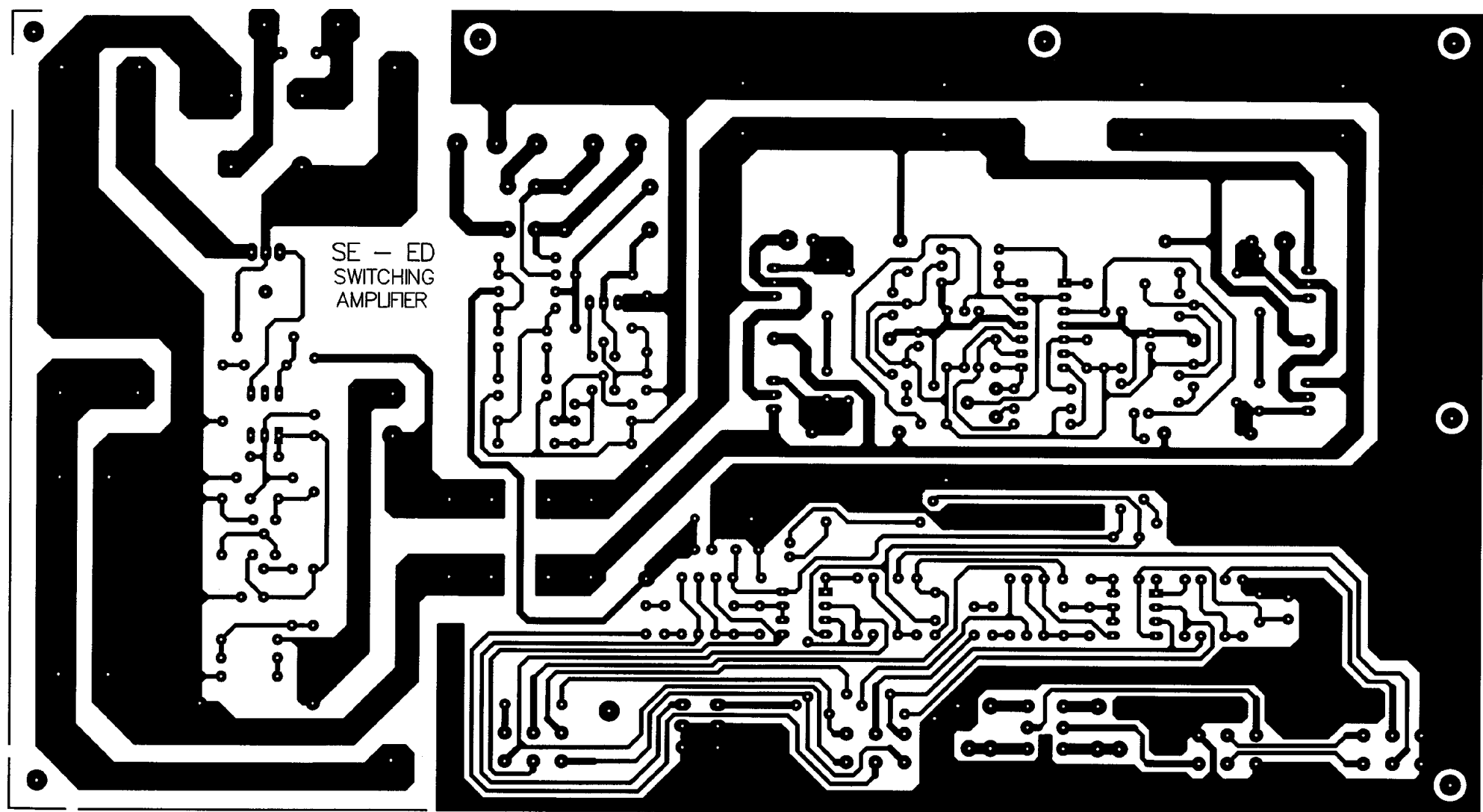
การสร้าง

การสร้างเพาเวอร์แอมป์แบบสวิตชิงนี้พอได้ยินคำว่า “สวิตชิง” ก็อย่าเพิ่งตกใจกลัวว่าการสร้างจะยุ่งยาก บางท่านอาจคิดว่าต้องพันหม้อแปลงสวิตชิงซึ่งเป็นเรื่องลำบากมากในการสร้างให้ได้ตามความต้องการ แต่สำหรับโครงการนี้แล้วบอกได้เลยว่าปราศจากหม้อแปลงใดๆ ทั้งสิ้นจึงหมดกังวลได้

เริ่มดำเนินการสร้างอันดับแรกต้องทำแผ่นวงจรพิมพ์มาก่อนโดยในรูปที่ 6 เป็นลายทองแดงแผ่นวงจรพิมพ์ของแจ๊คอินพุตและสวิตช์ซีเล็กเตอร์พร้อมกับรูปแสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ส่วนนี้ด้วย แจ๊ค RCA อินพุตนั้นจะเป็นแบบขาลงแผ่นวงจรพิมพ์แบบ 3 จุด 2 ชุด และแบบ 4 จุด 2 ชุด ต่อติดกันแล้วใช้สายแพเดินระหว่างแผ่นวงจรพิมพ์ของแจ๊คอินพุตกับแผ่นวงจรพิมพ์ของสวิตช์เลือกสัญญาณอินพุต โดยแผ่นวงจรพิมพ์ของแจ๊ค RCA จะยึดติดด้านหลังของกล่องด้วยการขันนอตยึดตัวแผลงของแจ๊ค RCA ส่วนสวิตช์เลือกอินพุตก็จะยึดติดกับแผงด้านหน้าของหน้าปัดเครื่องโดยการขันนอตยึดที่ตัวสวิตช์เลย

จากนั้นก็เดินสายซีลด์มายังสวิตช์ TAPE MONITOR ที่แผ่นวงจรพิมพ์ของปริ๊นแอมป์โทนคอนโทรลและเพาเวอร์แอมป์ โดยกราวด์ของวงจรจะยึดลงที่แท่นเพียงจุดเดียว

สำหรับในรูปที่ 7 เป็นลายทองแดงแผ่นวงจรพิมพ์ของส่วนปริ๊นโทนคอนโทรล, สวิตช์เพาเวอร์แอมป์และส่วนของสวิตช์เพาเวอร์ซัพพลาย ส่วนในรูปที่ 8 แสดงการลงอุปกรณ์ด้านบนแผ่นวงจรพิมพ์ของส่วนนี้ การประกอบอุปกรณ์ยึดหลัก



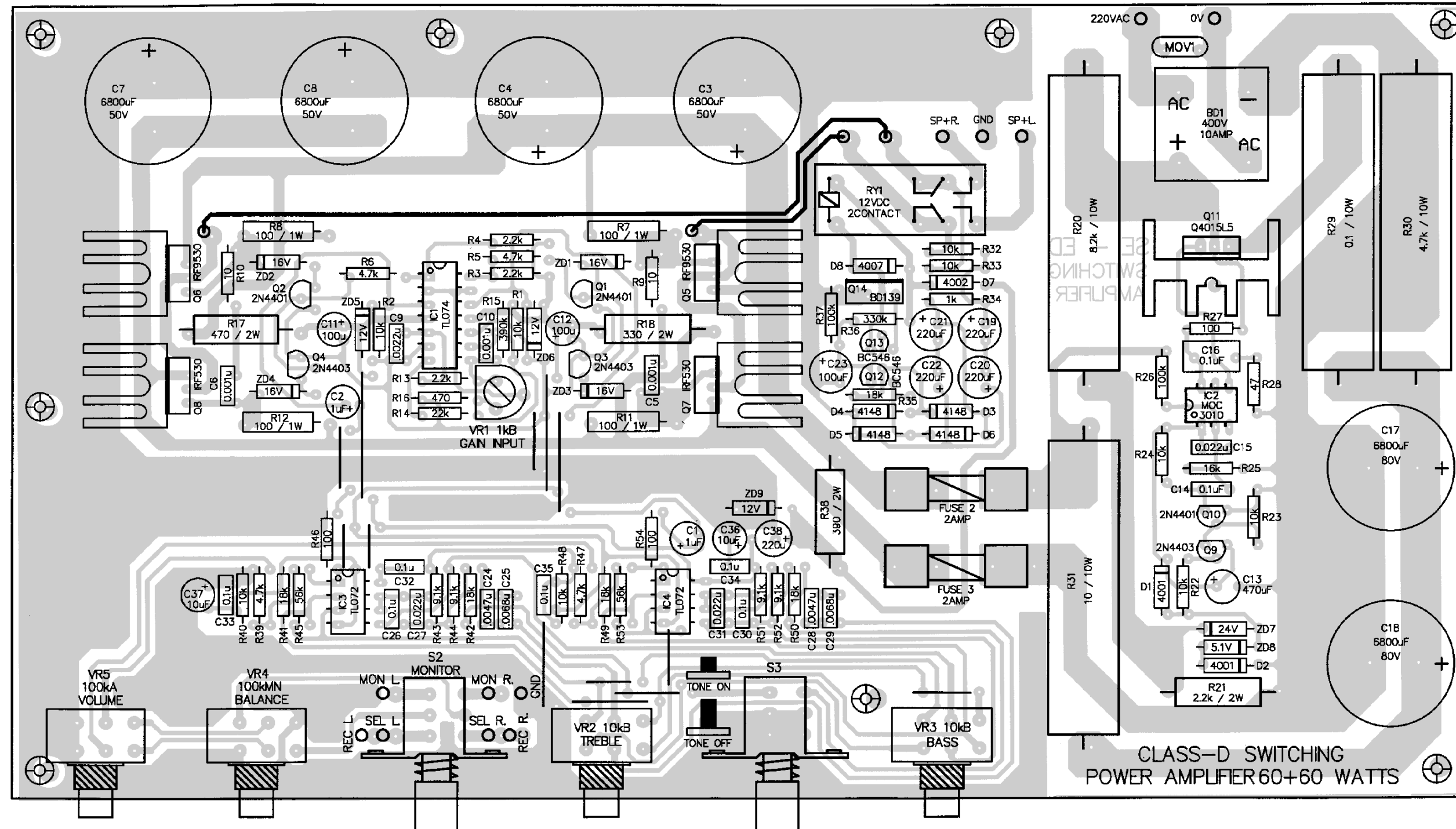
รูปที่ 7 ลายทองแดงของส่วนโทนคอนโทรล, เพาเวอร์แอมป์และซัพพลาย

มาตรฐานเช่นเดียวกับการประกอบโครงงานอื่นๆ และควรให้ความสำคัญในเรื่องความละเอียด และความถูกต้อง, ความปราณีตในการประกอบด้วยการใส่ลวดจัมพ์ทั้งหมดก่อนแล้วตามด้วยตัวต้านทานขนาดเล็กและตัวเก็บประจุขนาดเล็กรวมทั้งไดโอด, ซีเนอร์ไดโอดและทรานซิสเตอร์ขนาดเล็กให้หมดตามลำดับ ควรคำนึงถึงข้อ, ค่าและตำแหน่งให้ถูกต้องด้วย จากนั้นค่อยเริ่มใส่อุปกรณ์ตัวที่มีขนาดใหญ่ตามลำดับขั้นมาจนหมดทุกตัว

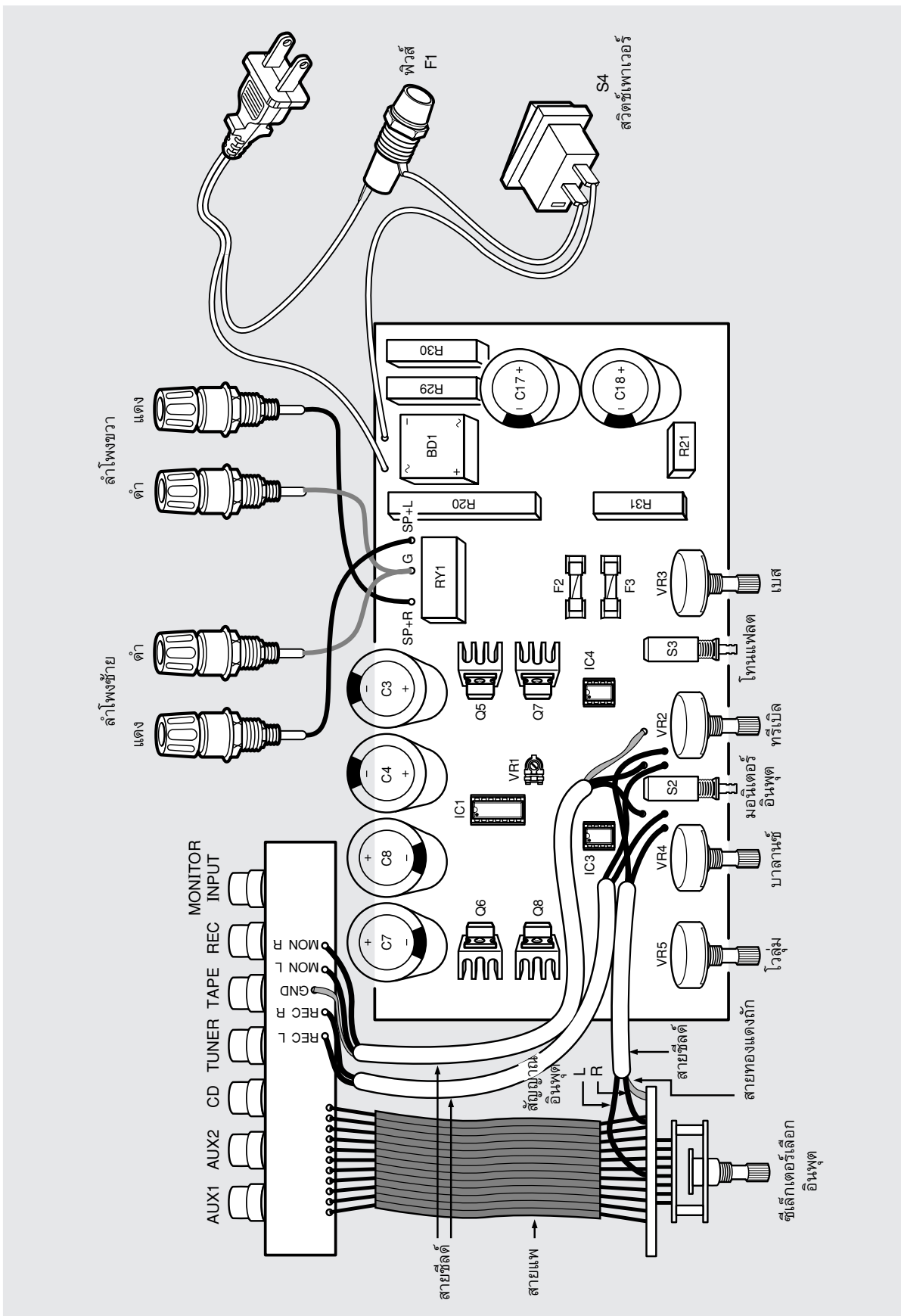
สำหรับซีเนอร์ไดโอด ZD1-ZD6 ที่กำหนดให้ใช้ขนาด 1 วัตต์นั้นในสภาวะปกติก็จะใช้งานได้อย่างดี แต่ถ้าหากว่าเปิดเครื่องใช้งานหนักตลอดทั้งวันทั้งคืนติดต่อกันแล้วซีเนอร์ไดโอดดังกล่าวจะเกิดความร้อนขึ้น หากผู้สร้างโครงงานไม่ต้องการประหยัดมากอาจจะเพิ่มเงินอีกเล็กน้อยเพื่อเปลี่ยนซีเนอร์ไดโอดจากขนาด 1 วัตต์เป็น 5 วัตต์แทน แต่ทั้งนี้เมื่อขนาดของซีเนอร์ใหญ่ขึ้นขาของมันก็จะตัดได้ยากอาจทำให้การประกอบยุ่งยากเล็กน้อย ในจุดนี้แต่ก็ไม่ยุ่งยากมากมายอะไร

ส่วนเพาเวอร์มอสเฟตนั้นเบอร์ IRF9530, IRF530 ที่กำหนดมาให้ในโครงงานนี้จะมีค่าแรงดันเดรน-ซอร์ซเท่ากับ 100 โวลต์ ในที่นี้เพาเวอร์มอสเฟต ทั้ง 4 ตัวนี้สามารถเปลี่ยนให้ค่าแรงดันสูงขึ้นได้หรือใช้เบอร์อื่นได้ที่มีคุณสมบัติไม่ต่ำกว่า IRF530 และ IRF9530 สำหรับการยึดแผ่นระบายความร้อนให้กับมอสเฟตและไดรแอกกระวังอย่าให้ลัดวงจรกับกราวด์และอย่าให้ตัวแผ่นระบายความร้อนแตะกับอีกชุดหนึ่งชุดใดเป็นอันขาด เว้นเสียแต่ว่าจะรองแผ่นฉนวนไม่ก้ำ ให้กับเพาเวอร์มอสเฟตแล้ว แผ่นระบายความร้อนในที่นี้สามารถใช้ขนาดที่พอเหมาะได้เพราะในขณะทำงานความร้อนที่เกิดขึ้นไม่มากมายเหมือนกับในวงจรพวกคลาส A และคลาส B

ในส่วนของเพาเวอร์ซัพพลาย



รูปที่ 8 การลงอุปกรณ์ด้านบนของโทคอนโทรล, เพาเวอร์แอมป์และซัพพลาย



รูปที่ 9 แสดงการเดินสายระหว่างแผ่นวงจรพิมพ์ทั้ง 3 ชุด

ตัวต้านทานเน็ตเวอร์การป้อนกลับเพื่อ การควบคุมค่าแรงดันทางเอาต์พุตให้คงที่ R25, R26 ที่ทำหน้าที่ป้อนกลับควรจะมีค่าด้วยดิจิตอลโอห์มมิเตอร์ได้ค่าประมาณ 15,800 โอห์ม และ 99,400 โอห์ม ตามลำดับ ซึ่งที่ค่า ๆ นี้จะทำให้ได้แรงดันทาง เอาต์พุตประมาณเท่ากับ 51 โวลต์ หรือหาก สามารถวัดค่าได้ตรงกับที่ระบุไว้ในวงจร ก็จะทำให้แน่ใจได้ว่าแรงดันทางเอาต์พุต 51 โวลต์จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงขณะใช้งาน ในส่วนของการเดินสายแสดงไว้ใน รูปที่ 9 ก็มีการเดินสายชิลด์จากชุดแผง แจ็ค RCA อินพุตมายังชุดของสวิตซ์ ซีเล็กเตอร์และมาเข้ายังแผ่นวงจรใหญ่ใน ตำแหน่งสวิตซ์ MONITOR และชุด จ่ายไฟนั้นไฟเมน 220 โวลต์จะถูกต่อเข้ามาโดยตรงที่แผ่นวงจรพิมพ์เลยหลังจาก ผ่านสวิตซ์เพาเวอร์มาแล้ว ดังนั้นในการใช้งานและการตรวจสอบรวมทั้งการประกอบลงกล่องระวางอย่าให้สายหรือปลาย ขาอุปกรณ์ที่เหลืจากการบัดกรีไปสัมผัส หรือติดวงจรเข้ากับตัวแท่นเครื่องเป็นอันขาด การจับแผ่นวงจรพิมพ์ขณะตรวจสอบ และปรับแต่งในขณะที่เสียบปลั๊กอยู่นั้นควรให้ความระมัดระวังให้มากเพราะ อาจโดนไฟดูดได้ และกล่องที่ใช้ควรจะมี ระบายอากาศจากภายในกล่องได้สะดวก เพราะจะช่วยให้อากาศระบายความร้อนได้ดีเสร็จ แล้วก่อนใช้งานต้องมีการตรวจสอบต่างๆ กันก่อน

การทดสอบและปรับแต่ง

ตรวจสอบความเรียบร้อยในการ ประกอบอีกครั้งตั้งแต่ตำแหน่งของอุปกรณ์, ขั้วและค่าให้ถูกต้อง รวมทั้งการเดินสายและการบัดกรีด้วย ก่อนทำการเสียบปลั๊กและ เปิดสวิตซ์จ่ายไฟเข้าเครื่องนั้นให้ถอดฟิวส์ F2, F3 ออกจากช็อกเก็ตฟิวส์ก่อน เพราะ หากวงจรจ่ายไฟทำงานผิดพลาด วงจร ส่วนอื่นจะได้อันตรายเสียหายไปด้วย แล้วเริ่ม ต้นทำการทดสอบตามลำดับต่อไปนี้

1. ถอดฟิวส์ F2, F3 ออกแล้ว เปิดสวิตซ์เพาเวอร์จ่ายไฟเข้าสู่วงจรพ- พลาย ใช้โวลต์มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟตรง +51 โวลต์เทียบกับกราวด์จะต้องได้ค่า ตามที่กำหนด ถ้าหากยังไม่ถูกต้องให้ ตรวจสอบดูค่าและตำแหน่งของ R25, R26 ว่าค่าถูกต้องหรือไม่ และสามารถเปลี่ยน ค่าตัวต้านทานทั้งสองนี้ได้เพื่อให้ได้ค่า ของแรงดันทางเอาต์พุตตามที่ต้องการโดย การเปลี่ยนค่าอาจจะแทน R26 ด้วยตัว ต้านทานแบบเก็อกมาปรับค่าได้เพื่อทำ การทดลองปรับตั้งค่าให้ได้ตามที่ต้องการ แล้วค่อยเปลี่ยนเป็นตัวต้านทานค่าคงที่ แทนเข้าไป

2. เมื่อได้ค่าแรงดัน +51 โวลต์ ถูกต้องแล้วให้ใส่ฟิวส์ F2, F3 เข้าไป ในขณะนี้จะไม่จำเป็นต้องต่อลำโพงและเบ าโวลุ่มลงสุดพร้อมกับปรับค่า VR1 มาอยู่ ในตำแหน่งกึ่งกลางและ VR5 ปรับมาที่ ตำแหน่งทวนเข็มนาฬิกาจนสุด จากนั้นเปิด สวิตซ์เพาเวอร์อีกครั้งแล้วใช้โวลต์มิเตอร์ วัดแรงดันตกคร่อม C11 จะต้องได้แรงดัน +12 โวลต์ และแรงดันตกคร่อม C12 ก็ จะต้องได้ -12 โวลต์ เท่านั้นถือว่าถูกต้อง แล้ว และเมื่อหลังจากเปิดสวิตซ์เพาเวอร์ ประมาณ 3-5 วินาที จะได้ยินเสียงรีเลย์ RY1 ทำงาน หากยังไม่ทำงานให้ตรวจสอบแรงดันไฟเลี้ยง +12 โวลต์ ที่จ่าย ไฟเลี้ยงให้กับวงจรส่วนนี้ พร้อมกับตรวจสอบดูค่าของ R36, R37, R38 ว่าถูกต้อง หรือไม่ หากเวลาเริ่มทำงานของ RY1 ช้าเกินไปอาจลดค่าของ R36 ลงได้อีกตาม ความเหมาะสมของระยะเวลาหน่วงที่ต้องการ

3. จะมีการเดินสายไฟบริเวณ Q6 และ Q5 มายังอินพุตของ RY1 ตรงนี้ ยังไม่ต้องเดินสายให้ปลดออกก่อนแล้ว ทดลองใช้มัลติมิเตอร์แบบเข็มตั้งย่านวัด $\times 1$ หรือ $\times 10$ ใช้ขั้วบวกแตะกับกราวด์ เอาขั้วลบมาแตะ (เขี่ย) เป็นจังหวะที่ขา NC ของ RY1 สังเกตดูว่ารีเลย์มีการ ตอบสนองต่อการทดลองครั้งนี้หรือไม่ ถ้า ถูกต้องรีเลย์จะหยุดทำงานตัดขั้วลำโพง

ออกจากเพาเวอร์แอมป์ทันที นั่นคือสภาวะ การป้องกันลำโพงจากไฟดีซีทางเอาต์พุต ของเพาเวอร์แอมป์

4. ใช้โวลต์มิเตอร์วัดแรงดันไฟตรง ที่จุดต่อบริเวณ Q6 และ Q5 เพื่อวัด แรงดันศูนย์โวลต์ที่เอาต์พุตของเพาเวอร์- แอมป์ หากการไบแอสของวงจรเพาเวอร์- แอมป์ถูกต้องจะต้องวัดแรงดันได้ศูนย์ โวลต์เทียบกับกราวด์ หรืออย่างมากสุด ไม่เกิน 0.56 โวลต์ดีซี เมื่อทุกอย่างถูก ตั้งแล้วก็ให้เดินสายจากจุดนี้ไปเข้ายังจุด NC ของรีเลย์ RY1 เพื่อต่อเข้ากับชุด ป้องกันลำโพงตามเดิมและพร้อมใช้งาน ได้แล้ว

5. ในการเดินสายแพหรือสายชิลด์ จากชุดของแจ๊คอินพุตมาเข้ายังสวิตซ์ซี- เล็กเตอร์นั้น ควรมีการเดินสายให้ดีที่สุด เพราะอาจทำให้เกิดการฮัมได้ และการ ลงกราวด์แทนควรจะต้องที่จุดเดียวและใช้ สายกราวด์ที่โตพอสมควรไม่ควรลงกราวด์ แทนหลายจุดเพราะจะทำให้เกิดการกราวด์ ลูบได้

6. ทดลองป้อนสัญญาณจากภายนอกเข้าไปแล้วลองต่อลำโพงและทดสอบ การปรับเสียงทึ่ม, แหลม, ว่าสามารถปรับได้หรือไม่ เท่านั้นที่เป็นอันเสร็จสิ้นการ ทดสอบแล้วก็ทำการปิดกล่องหาคำแหน่ง ตั้งวางที่ลงตัวแล้วฟังเพลงกันอย่างจริงจัง ได้แล้ว

ในที่สุดก็มีเฟอร์นิเจอร์ที่ขยับเสียง เพลงเพราะๆ ที่สร้างจากฝีมือตัวเองเพิ่มขึ้น มาอีกหนึ่งชิ้นแล้ว คราวนี้จะหาชิ้นวางที่ เหมาะและลงตัวบวกกับเครื่องเล่นแหล่งโปร- แกรมอินไลน์เพิ่มเติมอีกดีหนอ คราวนี้ เห็นที่ตอลงทุนมากกว่านั้นๆ เพราะแหล่ง โปรแกรมเสียงดี ๆ นั้นย่อมมีราคาแพง เป็นเงาตามตัว แต่ถ้ากลัวเสียเวลารอเก็บ ดังๆ ก็ใช้แหล่งโปรแกรมเดิมที่มีอยู่เล่น ไปพลางๆ ก่อนก็ยอมได้วัดกันดูว่าเสียง จะดีได้ขนาดไหน

